

## Enfoque multicritério para a localização de instalações de serviço: aplicação do método SMARTER

Yuri Gama Lopes, lopes@ufpe.br

Adiel Teixeira de Almeida, aalmeida@ufpe.br

Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia de Produção. Recife, PE, Brasil

\*Recebido: Março, 2008 / Aceito: Agosto, 2008

### RESUMO

*Dentre os diversos tipos de decisão presentes durante o processo de planejamento e gestão empresarial, a decisão de localização de instalações é fator crítico para o desempenho da organização tanto em suas próprias atividades de negócio como no desempenho da empresa na cadeia de suprimentos na qual está inserida, o que envolve a satisfação dos seus clientes, os custos logísticos e os resultados operacionais. Particularmente, a localização de unidades de serviço envolve uma maior quantidade de fatores subjetivos, dificultando o uso de modelos de decisão tradicionais para o tratamento do problema de localização. Tais modelos, em sua maioria, apresentam problemas metodológicos em seus procedimentos de análise e cálculo; sobretudo na estruturação de preferências do decisor e nas etapas de agregação multiobjetivo. Este trabalho procura, portanto, estruturar metodologicamente a tomada de decisão multicritério quanto a localização de unidades de serviço. Para isso, propõe a utilização do método SMARTER (Simple Multi-Attribute Rating Technique using Exploiting Rankings) e descreve uma aplicação numérica para resolução da questão.*

**Palavras-chave:** Localização. Unidades de Serviço. Apoio Multicritério a Decisão. SMARTER.

### 1. INTRODUÇÃO

As organizações estão inseridas num ambiente de mercado dinâmico e globalizado, que requer delas a capacidade de tomar decisões de forma eficaz, trazendo vantagem competitiva. Dentre os diversos tipos de decisão presentes durante o processo de planejamento e gestão empresarial, a decisão de localização das instalações é fator crítico para o desempenho da organização tanto em suas próprias atividades de negócio como no desempenho da empresa na cadeia de suprimentos na qual está inserida, o que envolve a satisfação de seus clientes, os custos logísticos e os resultados operacionais provenientes de instalações bem ou mal localizadas. A problemática da localização é um tema vastamente difundido na literatura e se encontra inserido em diversas áreas do conhecimento: está presente de forma consolidada tanto na literatura tradicional de gerência da produção como em publicações mais especializadas.

Segundo Ballou (2006), decisões sobre localização envolvem a determinação do número, local e proporções das instalações a serem usadas; essas instalações incluem

pontos nodais da rede, como fábricas, portos, vendedores, armazéns, pontos de varejo e pontos centrais de serviços na rede da cadeia de suprimentos em que os produtos páram temporariamente a caminho dos consumidores finais.

O setor de serviços tem importância fundamental na economia mundial, envolvendo grande parte mão de obra e dos Produtos Internos Brutos (PIB) de vários países. No Brasil, particularmente, o setor de serviços vêm se mantendo acima de 50% em sua participação no PIB nacional e empregando mais de 80% da força de trabalho do país (SANTOS, 2006).

Ao contrário das operações de manufatura, na qual os custos de produção são importantes considerações na seleção de uma locação, os serviços devem focar primordialmente fatores relacionados ao cliente (DAVIS *et al*, 2001). A análise de desempenho das atividades de serviço está diretamente ligada ao nível de satisfação do consumidor; a empresa deve não só satisfazê-lo, mas procurar superar suas expectativas. Dessa forma, a subjetividade da análise aumenta e torna a decisão sobre localização de unidades de serviço ainda mais complexa.

Definir a localização de instalações de serviço e varejo é uma decisão de longo prazo (CORRÊA & CAON, 2006), que tem grande influência na capacidade de nível de serviço prestado pela organização. Particularmente, a localização de unidades de serviço e varejo envolve uma maior quantidade de fatores subjetivos, dificultando o uso de modelos de decisão tradicionais para o tratamento do problema de localização. Tais modelos, em sua maioria, apresentam problemas metodológicos em seus procedimentos de análise e cálculo; sobretudo, ao tentarem incorporar vários critérios na análise. Este trabalho procura, portanto, estruturar metodologicamente a tomada de decisão multicritério quanto a localização de unidades de serviço, por meio da descrição de características e contextualização deste tipo de decisão e construção de uma abordagem de apoio a decisão baseada na aplicação do método de decisão multicritério SMARTER.

O item 2 estrutura uma base conceitual do problema de localização, revisa as diferentes visões existentes na literatura, assim como os modelos matemáticos utilizados. Ainda no capítulo 2, é revisada a literatura específica sobre problema de localização de unidades de serviço. No item 3, é proposta a utilização de um método multicritério, o SMARTER, para o problema. O item 4 realiza uma aplicação numérica do método proposto e, por fim, o item 5 apresenta as conclusões do trabalho e lista sugestões para futuros trabalhos no tema abordado.

## 2. LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES

Devido à sua importância e ao desenvolvimento de diversas técnicas de resolução, o problema de localização é bastante difundido em várias comunidades e áreas do conhecimento: administração da produção, pesquisa operacional, engenharia, logística, etc. Nesta seção, algumas dessas abordagens mais difundidas serão descritas de acordo com sua importância e utilização na solução de problemas.

Localizar instalações fixas ao longo da rede da cadeia de suprimentos é um importante problema de decisão que dá forma, estrutura e contornos ao conjunto completo dessa cadeia (BALLOU, 2006). Localizar significa determinar o local onde será a base de operações, onde serão fabricados os produtos ou prestados os serviços, onde se fará a administração do empreendimento. Em matéria de localização, nada pode ser negligenciado – às vezes, detalhes aparentemente pequenos, quando não levados em conta, podem trazer sérias desvantagens (MOREIRA, 2002).

Conforme Gaither & Frazier (2002), surgem como boas opções diversos locais possíveis, cada um com suas potencialidades e fragilidades, e a decisão quanto à localização envolve a análise de *trade-offs*: pode-se ganhar um tipo de benefício somente abrindo mão de outro. Esses *trade-offs*, relativos à escolha de pontos estratégicos, podem ser aflitivos e normalmente são resolvidas somente depois de uma longa e cuidadosa ponderação dos prós e contras de cada localização.

Na maioria das vezes, além da quantidade de fatores envolvidos, existem diferentes opções para localizar o empreendimento; e o que se quer é escolher aquela(s) que maximize(m) o(s) objetivo(s) do decisor, da organização. Para isso existe uma infinidade de modelos descritos na literatura, disponível nos principais livros de administração da produção, logística e marketing. A concepção destes modelos difere em relação ao tipo de atividade a ser realizada pela organização: atividades fabris ou de serviço e varejo. Tais modelos, em sua maioria, apresentam problemas metodológicos em seus procedimentos de análise e cálculo; sobretudo na estruturação de preferências do decisor e nas etapas de agregação multiobjetivo. É importante frisar a necessidade de uso de um modelo como apoio à decisão que se pretende tomar, respeitadas as imperfeições naturais inerentes ao processo de modelagem.

Alguns desses modelos tradicionais apresentados na literatura gerencial são: ponderação ou matriz qualitativa, análise dimensional, centro de gravidade e o modelo de Ardalan. (BALLOU *et al*, 2006; GAITHER & FRAZIER, 2002; BOWERSOX & CLOSS, 2001; MOREIRA, 2002; SLACK *et al*, 2002).

A literatura mais especializada sobre localização de instalações é bastante diversificada, apresenta várias formas de tratar o problema e suas variações: inúmeros modelos estão descritos nas principais revistas, periódicos e congressos científicos nacionais e internacionais, de variadas áreas do conhecimento. Destacam-se algumas abordagens mais desenvolvidas para o problema tratado:

- Programação matemática - vem sendo utilizada, sobretudo, em problemas de localização de facilidades únicas ou múltiplas de capacidade restrita ou irrestrita, maximização de cobertura e localização de *hubs* numa rede. O que se deseja é maximizar (ou minimizar) uma função objetivo linear ou não linear sujeita a restrições de capacidade, recursos financeiros, entre outras. Tal abordagem está presente numa grande quantidade de artigos nacionais e internacionais, e é utilizada em problemas tradicionais ou que necessitem de uma análise mais individualizada (PACHECO & CIRQUEIRA, 2006; ALAMO & BRINATI, 2006; WU & LIN, 2003; RODRÍGUEZ *et al*, 2007; JAYARAMAN *et al*, 2003; SKORIN-KAPOV *et al*, 1996; PIRKUL & SCHILLING, 1991; CARDILLO & FORTUNA, 2000; LOPES & CAIXETA FILHO, 2000; BARCELOS *et al*, 2004; PIZZOLATO *et al*, 2004; CORREIA & CAPTIVO, 2003).
- Apoio Multicritério a Decisão (AMD) - devido a sua natureza estratégica, o problema de localização é alvo de pesquisas dentre os estudiosos do AMD, com o desenvolvimento de modelos que tratem dos *trade-offs* presentes nesta tomada de decisão através da estruturação e agregação de preferências do decisor e do tratamento dos fatores quantitativos e subjetivos envolvidos. Uma abordagem do AMD para o problema de localização será detalhada no capítulo seguinte;
- A utilização de Teoria das Filas na resolução de problemas de localização está centrada na análise dos indicadores clássicos em sistemas de filas: disponibilidade de atendimento (relacionada com a taxa de ocupação do sistema de atendimento) e o tempo de espera na fila e no atendimento. É encontrada principalmente em localização de serviços públicos de saúde e de atendimento em geral. Destaca-se o problema de localizar unidades de saúde, emergenciais ou não, através de análise dos indicadores do sistema de filas (TAKEDA *et al*, 2004; GALVÃO *et al*, 2003). Outra forma é a integração de conceitos e indicadores básicos de filas em problemas de programação matemática, de modo a desenvolver conceitos probabilísticos e determinísticos num mesmo problema (MARIANOV & REVELLE, 1996; MARIANOV *et al*, 2007).
- A Teoria dos Jogos vem sendo utilizada num grande número de trabalhos, de variados ambientes. Rhim *et al* (2003) investigam como as empresas devem selecionar o número, os locais e a capacidade de suas instalações produtivas. Em seu trabalho, os autores analisam o equilíbrio de Nash do jogo de entrada e provêm

soluções suficientes para estabelecimento do equilíbrio neste jogo. Berman & Gavius (2007) estudam um jogo entre dois jogadores: uma entidade terrorista e o Estado, que demanda instalações de suporte em caso de ataque terrorista. Enquanto o terrorista procura maximizar sua utilidade atacando uma das possíveis áreas metropolitanas, o Estado procura minimizar suas perdas ao instalar suas unidades de suporte. O artigo busca unir as relações de Teoria dos Jogos a formulações de programação matemática, para os casos de instalação única ou múltipla.

## 2.1. LOCALIZAÇÃO DE UNIDADES DE SERVIÇO

Este item descreve estudos realizados no contexto foco deste trabalho: a localização de unidades de serviço. O processo de tomada de decisão sobre instalações de serviço possui, particularmente, maior subjetividade. Contudo, esse fator não pode ser colocado como pano de fundo para uma análise superficial ou baseada unicamente no sentimento dos gerentes envolvidos. Respeitando as particularidades de cada problema, deve-se buscar estruturá-lo de forma a racionalizar a tomada de decisão: isso requer a definição das variáveis envolvidas e a construção do modelo adequado à situação e capaz de indicar soluções pertinentes.

Dentre as áreas que detêm grande parte dos trabalhos desenvolvidos, destacam-se as áreas médica, educacional, energética e sanitária:

- Área médica - A aplicação de modelos de localização na área médica consiste frequentemente em problemas de localização de hospitais, rede de serviços médicos e de veículos de emergência (BROTCORNE *et al*, 2003; ALSALLOUM & RAND, 2006; JIA *et al*, 2007; CHU & CHU, 2000; RHAMAN *et al*, 2000; STUMMER *et al*, 2004; NDIAYE & ALFARES, 2006; MARIANOV & REVELLE, 1996; TAKEDA *et al*, 2004; REVELLE *et al*, 2007; SINUANY-STERN *et al*, 1995);
- Área educacional - Estudos de localização na área de educação são imprescindíveis para o bom desempenho da rede de escolas e universidades públicas ou privadas (BARCELOS *et al*, 2004; PIZZOLATO *et al*, 2004; PIZZOLATO & FRAGA DA SILVA, 1997; TEIXEIRA & ANTUNES, 2008);
- Áreas energética e ambiental - Nestas áreas destacam-se a localização de usinas de energia (ZAMBON *et al*, 2005) e a localização de aterros sanitários e estações de tratamento de lixo (HAASTRUP *et al*, 1998).

## 3. O SMARTER NO PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DE UNIDADES DE SERVIÇO

Ao tratar o problema de forma mais geral, a literatura tradicional de gestão pode perder na precisão dos resultados e prejudicar a aplicabilidade e implementação das ações indicadas pelo modelo utilizado. Não obstante, tal abordagem é comumente praticada no corpo gerencial das empresas, que na maioria das vezes não está preparado para lidar com decisões de localização de instalações: seja pela especificidade do problema ou pelos requisitos técnicos necessários para um tratamento mais especializado da questão.

Devido à importância da decisão e de suas implicações nas atividades internas e externas da organização, é necessária a existência de uma análise formal para tomada de decisão quanto à localização das instalações, baseada em técnicas que tratem o problema de forma mais estruturada e que consiga envolver grande parte dos aspectos inseridos no problema.

Recentemente, modelos de decisão multicritério, modelos de decisão em grupo e negociação têm atingido grande desenvolvimento, abordando questões relevantes em vários processos decisórios (CLÍMACO, 2004; ALMEIDA & COSTA, 2003). De acordo com Zeleny (1998), a tomada de decisão multicritério está firmemente baseada no conceito de otimalidade onde múltiplos critérios caracterizam a noção de “melhor”, com prevalência nas áreas de economia, engenharia, gestão e negócios. Esses são, frequentemente, problemas

onde a procura pela solução ótima requer alguma forma de avaliação da compensação (*trade-offs*) entre os critérios. O AMD não visa apresentar ao agente de decisão uma solução definitiva para seu problema, elegendo uma única verdade representada pela alternativa selecionada. Essa abordagem visa, sim, apoiar o processo decisório com a recomendação de ações que estejam em sintonia com as preferências expressas pelo agente de decisão (GOMES *et al*, 2006).

O SMARTS (Simple Multi-Attribute Rating Technique using Swings) e o SMARTER (Simple Multi-Attribute Rating Technique using Exploiting Rankings) foram propostos por Edwards & Barron (1994) para obtenção da utilidade multiatributo. Ambos são simplificações da MAUT (Multi-attribute Utility Theory), descrita em Keeney & Raiffa (1976), e buscam estabelecer uma Pré-ordem completa entre as alternativas.

O SMARTS busca corrigir um erro intelectual do SMART (Simple Multi-Attribute Rating Technique). A partir de um procedimento chamado de “*swing weights*” (peso das trocas), os autores incluem a questão da amplitude dos valores das alternativas nos critérios à noção de importância e compensação intercriterios. Admite que a função utilidade unidimensional seja linear e que função de agregação multiobjetivo é aditiva: de acordo com os autores, o processo de elicitación de preferências produz erros maiores do que àqueles resultantes das simplificações do modelo; o que justifica a adoção de técnicas mais simples para mensurar a utilidade multiatributo. No SMARTER, não há o “*swing weights*”. Após a ordenação dos critérios, utilizam-se valores pré-determinados denominados *ROC weights* (Rank Order Centroid weights) para os pesos, simplificando a obtenção das utilidades multiatributo. A utilidade multiatributo de uma alternativa  $a$  é calculada é  $U(a) = \sum_j w_j u_j(a)$ .

Se  $w_1 \geq w_2 \geq \dots \geq w_k$ , então o “peso” do  $k$ -ésimo atributo é  $w_k = \left(\frac{1}{k}\right) \sum_{i=1}^k \frac{1}{i}$ .

Os *ROC weights* conduzem a identificação da melhor opção entre 75 a 87% das vezes, dependendo dos detalhes da simulação e a perda no valor da utilidade global é abaixo de 2% (EDWARDS & BARRON, 1994). No pior caso, quando os pesos ROC não escolhem a melhor opção, eles não escolhem uma muito ruim. Para maiores detalhes deste procedimento, consultar Stillwell *et al* (1981) e Barron & Barret (1996).

A maioria dos trabalhos desenvolvidos no âmbito da localização de unidades de serviço utiliza modelos de programação matemática (monocritério ou multicritério) e de teoria das filas. Em muitas situações, tais modelos podem se mostrar inadequados para incorporar aspectos de natureza subjetiva e que apresentem dificuldades de quantificação e mensuração (MLADINEOA *et al*, 1987; SINUANY-STERN *et al*, 1995). Tal subjetividade dificulta o uso de modelos de decisão tradicionais para o tratamento do problema de localização de unidades de serviço e requer a aplicação de modelos capazes de incorporar essas imprecisões.

SMARTER é uma melhoria extraordinária ao SMARTS em matéria de facilidade e não necessita de entrevistas na fase de elicitación de preferências (EDWARDS & BARRON, 1994); consegue extrair conclusões a respeito das alternativas sem a necessidade de atribuição, por parte do decisor, dos valores de pesos ou constantes de escala. Dessa forma, é oportuna a aplicação do SMARTER, a fim de amenizar a dificuldade quanto a subjetividade do problema: o método facilita a elicitación de preferências principalmente em relação aos *trade-offs* presentes na tomada de decisões em localização de serviços. Deve ser considerado um conjunto enumerável e finito de alternativas de localização, um determinado número de critérios a serem abordados pelo decisor e, principalmente, que o decisor é capaz de explicitar suas preferências e que esteja de acordo com a natureza compensatória do método.

Para utilização dos métodos, os autores descrevem duas séries de nove passos, descritos abaixo de forma sucinta, que diferem quanto ao oitavo passo de acordo com o método: SMARTS ou SMARTER. A seguir estão listados os nove passos do SMARTER; para maiores detalhes destas etapas, consultar Edwards & Barron (1994).

**- Passo 1: Objetivos e decisores**

Identificar o objetivo da elicitación dos valores, assim como o indivíduo, organização ou organizações cujos valores devem ser elicitados.

**- Passo 2: Árvore de Valor.**

Elicitar uma hierarquia dos objetivos ou árvore de valores ou elicitado uma lista de atributos potencialmente relevantes aos propósitos da elicitación dos valores de cada decisor ou grupo de decisores.

**- Passo 3: Objetos de avaliação.**

Os objetos são alternativas e suas conseqüências. Se os objetivos da elicitación não especificaram os objetos de avaliação, utilizar a estrutura de atributos definidas no passo 2 para criá-los.

**-Passo 4: Matriz objetos x atributos.**

Formular uma matriz para avaliação de objetos por atributos. Os dados de entrada devem ser os scores relacionados com utilidades ou valores. Os scores não precisam ser utilidades unidimensionais numa escala cardinal, precisam apenas ser números tais que um maior número seja preferível a um menor (utilidade ordinal).

**-Passo 5: Opções dominadas.**

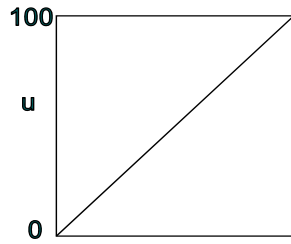
Eliminar opções ordinalmente dominadas. Dominância ordinal geralmente pode ser reconhecida por inspeção visual. As opções cardinalmente dominadas devem ser eliminadas. O número de opções será reduzido mas a escala de atributos não deve ser afetada. Se a opção dominada eliminada afetar a escala de atributos, analise se o atributo é digno de ser considerado, se não for retorna-se ao passo 2 para eliminá-lo.

**- Passo 6: Utilidades unidimensionais.**

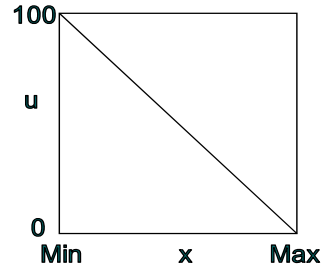
Reformular as entradas da matriz de objetos x atributos para utilidades unidimensionais. As entradas da tabela são utilidades unidimensionais numa escala cardinal. Para isso, testar inicialmente a linearidade das utilidades unidimensionais para cada dimensão nas quais scores físicos estão disponíveis. Edwards & Barron (1994) propõem, quatro formas diferentes para determinar a função utilidade unidimensional  $u_j(a)$ , conforme Figura 1. Se o uso da linearidade como uma aproximação for justificável, utilizar a escala de classificação ou uma faixa mais ampla para especificar os limites inferior e superior das funções utilidade unidimensionais. Calcule as utilidades unidimensionais utilizando equações lineares para estas funções ou plote as funções como gráficos e verifique os pontos de interesse na curva. Se os scores estiverem disponíveis mas o teste de linearidade falhar, pode-se utilizar qualquer método de elicitación para utilidades unidimensionais descritos em Von Winterfeldt & Edwards (1986). Daqui em diante está sendo considerado que o modelo aditivo pode ser utilizado. Também será considerado a linearidade das utilidades unidimensionais ou que estas foram elicitadas de maneira direta.

**- Passo 7: Ordenação de atributos.**

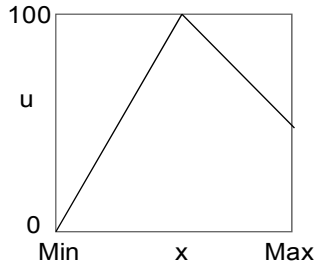
Fazer a parte 1 do "swing weights". Pergunta-se ao decisor: "Caso existisse uma alternativa que tivesse o pior score para todos os critérios analisados. Dada a oportunidade de trocar apenas a avaliação em uma das dimensões do pior valor para o melhor dentre as alternativas, em qual dimensão você melhoraria?". Continue até que todas as dimensões sejam ordenadas.



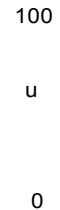
**Tipo a:** quanto maior o valor de x, maior é a utilidade (u)



**Tipo b:** quanto menor o valor de x, menor é a utilidade (u)



**Tipo c:** Função utilidade que possui um ponto de máximo interior



**Tipo d:** As utilidades são avaliadas por julgamentos sem a especificação de variáveis físicas.

Figura 1. Tipos de função utilidade.

Fonte: adaptado de Edwards & Barron (1994)

**- Passo 8.**

Usar tabela fornecida em Edwards & Barron (1994) ou equação para calcular os pesos diretamente. Se  $w_1 \geq w_2 \geq \dots \geq w_k$ , então:

$$w_1 = (1 + 1/2 + 1/3 + \dots + 1/k) / k$$

$$w_2 = (0 + 1/2 + 1/3 + \dots + 1/k) / k$$

$$w_3 = (0 + 0 + 1/3 + \dots + 1/k) / k$$

$$w_k = (0 + 0 + 0 + \dots + 1/k) / k$$

Mais genericamente, se k é o número de atributos, então o peso do k-ésimo atributo é:

$$w_k = \left( \frac{1}{k} \right) \sum_{i=1}^k \left( \frac{1}{i} \right)$$

Esses pesos são identificados como ROC weights. Os ROC weights conduzem a identificação da melhor opção entre 75 a 87% das vezes, dependendo dos detalhes da simulação. A perda no valor da utilidade global é abaixo de 2%. No pior caso, quando os pesos ROC não escolhem a melhor opção, eles não escolhem uma muito ruim. Para maiores detalhes deste procedimento, consultar Stillwell *et al* (1981) e Barron & Barret (1996). Definidos os ROC weights, calcular todas as utilidades multiatributo

$$U(a) = \sum_k w_k u_k(a).$$

**- Passo 9:** Decidir

Os critérios escolhidos podem diferir de acordo com a situação problema. Como mencionado anteriormente, a atividade de serviços está diretamente ligada ao nível de satisfação dos consumidores, atrelando fortemente aspectos subjetivos à percepção e mensuração de desempenho do serviço. De forma geral, a proposta deste trabalho procura

envolver aspectos comumente encontrados na temática de localização de unidades de serviço, qualitativos ou quantitativos, os quais podem ser adaptados de acordo com o problema. São estes os recomendados:

- *Tamanho da população (p)*: representada pelo número de clientes em potencial da área em que a alternativa está localizada, que formarão a base do público-alvo da empresa. É um critério tipo *a*;
- *Distância média (d)*: média da distância (em quilômetros)  $d_{ij}$  entre as áreas *i* e *j*, para cada localidade *j*. Tomando por base os pontos específicos dentro de cada uma onde estão localizadas as *n* alternativas, sendo zero o valor de  $d_{ij}$ . É um critério tipo *b*;
- *Custo (c)*: estimativa do custo monetário total (em reais - R\$) de instalação e operação da unidade para determinado período de tempo, cuja duração é especificada levando-se em conta o planejamento futuro do empreendimento. É um critério tipo *b*;
- *Infra-estrutura do varejo (e)*: critério qualitativo relacionado com o funcionamento das operações de varejo da área onde está localizada a alternativa, como complementaridade de lojas vizinhas, presença de áreas comerciais, etc. Inicialmente pode-se considerar um escala ordinal e depois determina-se a utilidade segundo o tipo de critério *d*;
- *Acessibilidade (a)*: critério qualitativo relativo ao fluxo de tráfego, facilidade de acesso e visibilidade da alternativa de localização. Inicialmente pode-se considerar um escala ordinal e depois determina-se a utilidade segundo o tipo de critério *d*;

A alternativa escolhida deve ser aquela que obtiver o maior valor de utilidade global *U*. Caso exista outra unidade a ser instalada, deve-se retomar o passo 2 do SMARTER, e estruturar o problema em função da primeira alternativa escolhida. A alternativa já escolhida é excluída, e desconsiderada a distância desta localidade para as demais localidades restantes; isso se deve ao fato de que os clientes da área onde está a primeira unidade irão preferir encaminhar-se à unidade mais próxima.

#### 4. APLICAÇÃO NUMÉRICA

A utilização do modelo proposto é genérica, pois busca analisar os aspectos de localização mais encontrados na literatura, sendo recomendada a seqüência de passos para aplicação do SMARTER descrita em Edwards & Barron (1994). Essa seqüência permitirá a adaptação do modelo a fim de incluir particularidades de alguns problemas, como a inclusão e exclusão de critérios e alternativas.

A aplicação apresentada a seguir não é um caso real específico, mas considera dados realísticos, baseados num determinado contexto e na estrutura de relação entre as variáveis consideradas.

Para determinar a localização de uma única unidade de serviço, espera-se obter ao final do passo 4 do SMARTER, a Tabela 1. Considera-se:

- $n=7$  alternativas ( $A_n$ ) potenciais de localização, cada uma presente numa área pré-determinada, que possui uma população (clientes em potencial). Essas áreas podem ser comunidades, bairros, cidades, regiões, etc.;
- $m=5$  critérios ( $C_m$ ) para análise das alternativas, descritos no item anterior;
- O modelo determina qual bairro deve receber a instalação de serviço em função da análise global das alternativas e escolha daquela que obtiver maior utilidade global. Para isso, devem ser seguidos os passos seguintes do SMARTER.



Tabela 1. Matriz nXm

	C <sub>1</sub> Tamanho da população	C <sub>2</sub> Distância média	C <sub>3</sub> Custo	C <sub>4</sub> Infra-estrutura do varejo	C <sub>5</sub> Acessibilidade
A <sub>1</sub>	50.000	6,5	1.800.000	Ótimo	Bom
A <sub>2</sub>	35.000	8	1.300.000	Ruim	Regular
A <sub>3</sub>	45.000	4,5	1.600.000	Péssimo	Regular
A <sub>4</sub>	53.000	7	1.700.000	Regular	Ótimo
A <sub>5</sub>	42.000	6	1.400.000	Péssimo	Bom
A <sub>6</sub>	38.000	3	1.400.000	Bom	Péssimo
A <sub>7</sub>	48.000	9	1.750.000	Regular	Bom

- **Passo 5:** Dominância. Tem-se a Tabela 2, sendo excluída a alternativa dominada A<sub>7</sub> dominada por A<sub>4</sub>.

Tabela 2. Matriz nXm com alternativas não dominadas

	C <sub>1</sub> Tamanho da população	C <sub>2</sub> Distância média	C <sub>3</sub> Custo	C <sub>4</sub> Infra-estrutura do varejo	C <sub>5</sub> Acessibilidade
A <sub>1</sub>	50.000	6,5	1.800.000	Ótimo	Bom
A <sub>2</sub>	35.000	8	1.300.000	Ruim	Regular
A <sub>3</sub>	45.000	4,5	1.600.000	Péssimo	Regular
A <sub>4</sub>	53.000	7	1.700.000	Regular	Ótimo
A <sub>5</sub>	42.000	6	1.400.000	Péssimo	Bom
A <sub>6</sub>	38.000	3	1.400.000	Bom	Péssimo

- **Passo 6:** Estabelecer utilidades unidimensionais (ver Tabela 3)

Tabela 3. Matriz nXm com alternativas não dominadas e utilidades unidimensionais

	C <sub>1</sub> Tamanho da população	C <sub>2</sub> Distância média	C <sub>3</sub> Custo	C <sub>4</sub> Infra-estrutura do varejo	C <sub>5</sub> Acessibilidade
A <sub>1</sub>	0,833	0,300	0,000	1,000	0,800
A <sub>2</sub>	0,000	0,000	1,000	0,300	0,300
A <sub>3</sub>	0,556	0,700	0,400	0,000	0,300
A <sub>4</sub>	1,000	0,200	0,200	0,500	1,000
A <sub>5</sub>	0,389	0,400	0,800	0,000	0,800
A <sub>6</sub>	0,167	1,000	0,800	0,800	0,000

- **Passo 7:** Ordenação de Atributos. Efetua-se a parte 1 do “*swing weights*” e obtém-se a ordem de importância das faixas de valores (*range*) dos atributos, conforme Tabela 4. A ordem de importância “1” corresponde ao atributo mais importante.

Tabela 4. Ordenação dos atributos

	1	2	3	4	5
Ordenação dos Atributos	C <sub>1</sub> Tamanho da população	C <sub>2</sub> Distância média	C <sub>3</sub> Custo	C <sub>4</sub> Infra-estrutura do varejo	C <sub>5</sub> Acessibilidade

- **Passo 8:** Calcular os pesos diretamente (Tabela 5), a partir da ordenação do passo 7. Calcular todas as utilidades multiatributo (Tabela 6)

Tabela 5. Pesos dos critérios - ROC weights

Pesos dos critérios	C <sub>1</sub> Tamanho da população	C <sub>2</sub> Distância média	C <sub>3</sub> Custo	C <sub>4</sub> Infra-estrutura do varejo	C <sub>5</sub> Acessibilidade
	0,4567	0,2567	0,1567	0,09	0,04

Tabela 6. Utilidades multiatributo

	$U(a) = \sum_j w_j u_j(a)$
A <sub>1</sub>	0,805
A <sub>2</sub>	0,304
A <sub>3</sub>	0,228
A <sub>4</sub>	0,668
A <sub>5</sub>	0,354
A <sub>6</sub>	0,503

- **Passo 9:** Decidir. A partir da Tabela 6, escolhe-se a alternativa com maior valor de utilidade global  $U$ . Neste caso, recomenda-se a escolha de A<sub>1</sub>.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho procurou descrever o problema de localização, e particularmente da localização de unidades de serviço, segundo as diferentes visões encontradas na literatura: as variantes do problema e os métodos de resolução mais difundidos. Foi proposta a utilização do método multicritério SMARTER para a solução de problemas, de modo a considerar, durante o processo decisório, os múltiplos atributos envolvidos e a subjetividade inerente à definição da localização de unidades de serviço.

Localizar instalações é um problema estrutural de grande impacto nas atividades de serviço. As conseqüências relacionadas às decisões de localização possuem um alcance de longo prazo, de maneira que ações errôneas são gravemente penalizadas, até com a falência ou inviabilização do negócio. Esta decisão, portanto, não pode ser tomada de forma corriqueira ou negligenciável: há necessidade de estruturar o processo decisório a fim de maximizar o retorno obtido.

Nesse sentido, ressalta-se a infinidade de aspectos envolvidos na decisão de localização e a particularidade inerente a cada problema. Mesmo dentro da localização de unidades de serviço, há diferentes contextos e propostas de resolução. O conjunto dessas características define o problema e as possíveis formas de resolução. De maneira geral, a

idéia do método SMARTER, em relação ao tratamento multicritério da questão, é apropriada para a maioria das decisões de localização.

Para exemplificar o uso do SMARTER, foi realizada uma aplicação numérica com números fictícios, porém num contexto realístico. O método SMARTER mostrou-se bastante eficaz na resolução do problema, pois se apresenta de forma simples e metodologicamente estruturado no que concerne ao tratamento multicritério ao problema. De maneira geral, dadas algumas condições impostas pelo método do passo a passo do método, a seqüência de passos do SMARTER é simples e, pelo menos, bastante proveitosa, pois em suas primeiras etapas requer que o decisor e o analista estructurem metodologicamente o problema. A facilidade e eficácia do uso dos ROC *weights* (Barron & Barret, 1996) são fatores chaves para aplicabilidade do método no contexto abordado neste artigo.

Para trabalhos futuros em localização de instalações de unidades de serviço, além da aplicação do modelo proposto numa situação real, podem ser citadas algumas oportunidades:

- A incorporação de outros critérios ao modelo, tais como riscos atrelados aos empreendimentos, de forma a adaptá-lo a diferentes contextos;
- Descrição de procedimentos para a etapa de análise de sensibilidade, de modo a enriquecê-la e dar maior robustez ao método de decisão utilizado;
- Utilização de modelos que utilizem informações parciais para apoiar a tomada de decisão, tais como ELECTRE IV e VIP Analysis,
- Utilizar outros modelos multicritério que considerem um critério único de síntese, tais como MAUT e SMARTS;
- Modelos baseados na integração de metodologias do AMD e de programação matemática.

## 6. REFERÊNCIAS

ALAMO, J. A.T.; BRINATI, M. A. Modelagem para localização de hubs no transporte de encomendas expressas. **Revista Produção**, v. 16, n. 3, p. 470-480, 2006.

ALMEIDA, A. T. (Org.); COSTA, Ana Paula Cabral Seixas (Org.). **Aplicações com Métodos Multicritério de Apoio a Decisão**. Recife: Editora Universitária, 2003. v. 1. 154 p.

ALSALLOUM, O.I.; RAND, G.K. Extensions to emergency vehicle location models. **Computers & Operations Research**, v. 33, p.2725–2743, 2006.

BALLOU, R.H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. Tradução Raul Rubenich. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BARCELOS, F. B.; PIZZOLATO, N. D.; LORENA, L. A. N. Localização de escolas do ensino fundamental com modelos capacitado e não-capacitado: caso de Vitória/ES. **Pesquisa Operacional**, v.24, n.1, p.133-149, 2004.

BARRON, A.H.; BARRETT, B.E. The efficacy of SMARTER – Simple Multi-Attribute Rating Technique Extended to Ranking. **Acta Psychologica**, v.93, p.23-36, 1996.

BERMAN, O.; GAVIOUS, A. Location of terror response facilities: A game between state and terrorist. **European Journal of Operational Research**, v.177, p.1113–1133, 2007.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logística Empresarial: O Processo de Integração da Cadeia de Suprimento**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2001.

BROTCORNE, L; LAPORT, G.; SEMET, F. Ambulance location and relocation models. **European Journal of Operational Research**, v.147, p. 451–463, 2003.

CARDILLO, D .L.; FORTUNA, T. A DEA model for the efficiency evaluation of nondominated paths on a road network. **European Journal of Operational Research**, v.121, p.549-558, 2000.

CHU, S.C.K ; CHU, L. A modeling framework for hospital location and service allocation. **International Transactions in Operational Research**, v. 7, p. 539-568, 2000.

CLÍMACO, J.C. N. An critical reflection on optimal decision. **European Journal of Operational Research**, v.153, p.506–516, 2004.

CORRÊA, H.L; CAON, M.. **Gestão de serviços: lucratividade por meio de operações e de satisfação dos clientes**.-1.ed.-5.reimpr.- São Paulo: Atlas, 2006.

CORREIA, I.; CAPTIVO, M.E. A Lagrangean Heuristic for a Modular Capacitated Location Problem. **Annals of Operations Research** , v.122, p.141–161, 2003.

DAVIS, M. M.; AQUILANO, N. J.; CHASE, R.B. **Fundamentos da Administração da Produção**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2001.

EDWARDS, W; BARRON, F. H. SMARTS and SMARTER: Improved Simple Methods for Multiattribute Utility Measurement. **Organizational Behavior and Human Decision Processes**, v.60, p.306-325, 1994.

GAITHER, N.; FRAZIER, G.. **Administração da produção e operações**. 8.ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.

GALVÃO, R.D.; CHIYOSHI, F.Y.; ESPEJO, L.G.A.; RIVAS, M.P.A. Solução do problema de localização de máxima disponibilidade utilizando o modelo hipercubo. **Pesquisa Operacional**, v.23, n.1, p.61-78, 2003.

GOMES, L.F.A.M.; GOMES, C.F.S. & ALMEIDA, A.T. **Tomada de Decisão Gerencial: Enfoque Multicritério**. 2.ed., Editora Atlas, Rio de Janeiro, 2006.

HAASTRUP, P.; MANIEZZO, V.; MATTARELLI, M.; MAZZEO RINALDI, F.; MENDES, I.; PARUCCINI, M. A decision support system for urban waste management. **European Journal of Operational Research**, v.109, p.330-341, 1998.

JAYARAMAN, V.; GUPTA, R.; PIRKUL, H. Selecting hierarchical facilities in a service-operations environment. **European Journal of Operational Research**, v. 147, p. 613–628, 2003.

JIA, H.; ORDÓNEZ, F.; DESSOUKY, M. M. Solution approaches for facility location of medical supplies for large-scale emergencies. **Computers & Industrial Engineering**, v. 52, p. 257–276, 2007.

KEENEY, RL; RAIFFA, H. **Decision with Multiple Objectives: Preferences and value trade-offs**. John Wiley & Sons, 1976.

LOPES, R.L.; CAIXETA FILHO, J.V.. Suinocultura no Estado de Goiás: aplicação de um modelo de localização. **Pesquisa Operacional**, Vol. 20, No. 2, p.213-232, 2000.

MARIANOV, V.; REVELLE, C. The Queueing Maximal Availability Location Problem: A model for the siting of emergency vehicles. **European Journal of Operational Research**, v. 93, p.110-120, 1996.

MARIANOV, V.; RÍOS M., ICAZA M.J. Facility location for market capture when users rank facilities by shorter travel and waiting times. **European Journal of Operational Research**, 191, 1, 30-42, 2008.

MLADINEOA, N.; MARGETAA, J.; BRANS, J.P.; MARESCHAL, B. Multicriteria ranking of alternative locations next term for small scale hydro plants. **European Journal of Operational Research**, v.31, p. 215-222, 1987.

MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações**. 3 ed. São Paulo, Pioneira, 2002.

NDIAYE, M; ALFARES, H. Modeling health care facility location for moving population groups. **Computers and Operations Research** , v.35, p.2154-2161, 2008.

PACHECO, R.F.; CIRQUEIRA L.Z. Solução simultânea de problemas logísticos de localização de depósitos e centralização de estoques. **Revista Produção**, v. 16, n. 3, p. 481-492, Set./Dez. 2006.

PIRKUL, H.; SCHILLING, D.A. The Maximal Covering Location Problem with Capacities on Tot. **Management Science**, v.37, n.2, p.233-248, 1991.

PIZZOLATO, N. D.; BARROS, A.G.; BARCELOS, F.B. ; CANEN, A.G. Localização de escolas públicas: síntese de algumas linhas de experiências no Brasil. **Pesquisa Operacional**, v.24, n.1, p.111-131, 2004.

PIZZOLATO, N.D.; FRAGA DA SILVA, H. B. The location public of public: Evaluation of Practical Experiences. **Int. Trans. Opl Res.**, v.4, p. 13-22, 1997.

REVELLE, C; MURRAY, A.T.; SERRA, D. Location models for ceding market share and shrinking services. **Omega**, v. 35, p. 533 – 540, 2007

RHIM, H.; HO, T.H.; KARMARKAR, U.S. Competitive location, production, and market selection. **European Journal of Operational Research**, v.149, p.211–228, 2003.

RODRÍGUEZ, V.; ALVAREZ, M.J.; BARCOS, L. Hub location under capacity constraints. **Transportation Research Part E** 43, p. 495–505, 2007

SANTOS, I.M. dos. **Proposta de um modelo de avaliação de desempenho para empresas de serviços certificados com a ISO 9001:2000**. Recife: O Autor, 2006. 179 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

SINUANY-STERM, Z.; MEHREZ, A.; TAL, A.; SHEMUEL, B. The location of a hospital in a rural region: The case of the Negev. **Location science**, v.3, p.255-266, 1995.

SKORIN-KAPOV, D.; SKORN-KAPOV, J.; O KELLY, M. Tight linear programming relaxations of uncapacitated p-hub median problems. **European Journal of Operational Research**, v. 94, p. 582-593, 1996.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 2 ed. São Paulo, Atlas, 2002

STILLWELL, W.G.; SEAVER, D.A. & EDWARDS, W. A comparison of weight approximation techniques in multiattribute utility decision making. **Organizational behavior and human performance**, v.28, p.62-77, 1981.

STUMMER, C; DOERNER, K; FOCKE, A; HEIDENBERGER, K. Determining Location and Size of Medical Departments in a Hospital Network: A multiobjective decision support approach. **Health Care Management Science**, v. 7, p.63-71, 2004.

TAKEDA, R.A.; WIDMER, J.A.; MORABITO, R. Aplicação do modelo hipercubo de filas para avaliar a descentralização de ambulâncias em um sistema urbano de atendimento médico de urgência. **Pesquisa Operacional**, v.24, n.1, p.39-71, 2004.

TEIXEIRA, J. C.; ANTUNES, A. P. A hierarchical location model for public facility planning. **European Journal of Operational Research**, v.185, p.92-104, 2008.

Von WINTERFELDT, D.; EDWARDS, W. **Decision Analysis and behavioral research**. New York: Cambridge University Press, 1986.

WU, T.H.; LIN, J.N. Solving the competitive discretionary service facility location problem. **European Journal of Operational Research**, v. 144, p. 366–378, 2003.

ZAMBOM, K.L.; CARNEIRO, A.A.F.M.; SILVA, A.N.R.; NEGRI, J.C. Análise de decisão multicritério na localização de usinas termoeletricas utilizando SIG. **Pesquisa Operacional**, v.25, n.2, p.183-199,2005.

ZELENY. M. Multiple criteria decision making: eight concepts of optimality. **Human Systems Management**, v.17, p.97–107, 1998.

## Multicriteria approach for service units location: proposal of method SMARTER application

Yuri Gama Lopes, lopes@ufpe.br

Adiel Teixeira de Almeida, [aalmeida@ufpe.br](mailto:aalmeida@ufpe.br)

Federal University of Pernambuco, Department of Production Engineering. Recife, PE, Brasil

\*Received: March, 2008 / Accepted: August, 2008

### ABSTRACT

*Among the various types of decision present during the planning and business management process, location decision is a critical factor to organization development, as much in their own business activities, as in the company performance in the supply chain in which it is included, which involves its customers satisfaction, logistics costs and operational results. Particularly, the location of service units involves a greater amount of subjective factors, hampering the use of traditional decision models to tackle the location problem. Such models, in their majority, have methodological problems in its analysis and calculus procedures, especially in the decision-maker preferences structuring and in the multicriteria aggregation procedures. This paper seeks structure methodologically the multicriteria decision making to locate service units. For this, it is proposed the use of the method SMARTER (Simple Multi-Attribute Rating Technique using Exploiting Rankings), and a numerical application is described.*

**Keywords:** Location. Service Units. Multicriteria Decision-Aid. SMARTER.

---